WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

к нулю, так чтобы мяч летел перпендикулярно правой боковой стенке. Именно поэтому при правильно выполненном ударе «зигзаг» мяч при последнем отскоке движется параллельно задней стенке.

Если я в своих вычислениях учитывал потери энергии при каждом соударении, то расчетная траектория мяча оказывалась более близкой к истинной траектории при ударе «зигзаг» на корте правильных размеров. При этом сохраняется возможность окончательного отскока параллельно задней стенке. И все же мои вычисления не совсем верны, так как истинная траектория — это трехмерная линия. Из-за сделанного мною предположения о том, что траектория лежит в плоскости, вычисления становятся слишком упрощенными: в них принимается, что ось вращения мяча всегда параллельна стенке. На самом же деле ось вращения мяча часто составляет некоторый угол с боковыми стенками.

При ударе «кругом по стенкам» мяч также касается трех стенок. От правой боковой стенки он отскакивает в переднюю стенку, от передней — в левую боковую стенку . Удар рассчитан на то, чтобы вызвать замешательство партнера, но если мяч упадет на пол посредине корта, партнеру нетрудно будет отбить его в переднюю стенку. Я задумался над тем, как бы выполнить удар «кругом по стенкам» так, чтобы мяч отскочил от левой боковой стенки параллельно передней стенке. Такой странный отскок, несомненно, застал бы врасплох моего партнера, который ожидал бы мяч в задней части корта.

Я пробовал и так и сяк, но безуспешно. В конце концов, усомнившись в своем умении играть, я снова обратился к математической теории. Вычисления показали, что такой отскок возможен, если вначале пустить мяч с большой скоростью под малым углом к правой боковой стенке. Проведи я вычисления пораньше, мне не пришлось бы так много впустую махать ракеткой.

Можно анализировать и многие другие удары, рассматривая сплошной или полый теннисный мяч. Возможно, существуют такие хитроумные удары, каких не знают пока и профессиональные рэкитболисты. Вам, может быть, покажется любопытным исследовать вопрос о том, как мяч теряет энергию при скользящем соударении со стенкой. Может быть, вам будет интересно проследить за траекторией мяча в трех измерениях, когда ось вращения не параллельна стенкам. Такой анализ можно было бы провести путем машинного моделирования рэкитбола. Будьте осторожны, экспериментируя со сплошным, очень упругим мячом на корте. Я как-то раз пробовал делать это. Мяч так быстро летал и отскакивал, что я еле успевал уворачиваться.

Занимательный компьютер

Недостатки «электронного глаза» говорят о том, что зрительное восприятие невозможно без представления о видимом объекте

А. К. ДЬЮДНИ

ВООБРАЗИМ себе небольшое устройство наподобие фотоаппарата с линзой на передней панели корпуса и позиционным переключателем сбоку. Различным положениям переключателя соответствуют такие надписи, как «дерево», «дом», «кошка» и т.д. Установив переключатель в положение «кошка», отправимся на прогулку. Как только мы обнаружим кошку на соседнем крыльце, направим на нее наш аппарат: на его панели загорится красная сигнальная лампочка. Если мы направим аппарат на другие объекты, лампочка гореть не будет.

Внутри нашего аппарата находятся фотоэлектрические детекторы — своеобразная электронная сетчатка, посылающая импульсы тока на двуслойную логическую схему. Устройство подобного типа называется персептроном (от английского слова perception — восприятие, осознание. — *Перев.*). В свое время на персептроны возлагались большие надежды. Считалось, что в конце концов они смогут справиться с задачами распознавания образов в реальном мире, подобно тому как это выглядело в только что приведенном фантастическом примере. Надежды, однако, не оправдались.

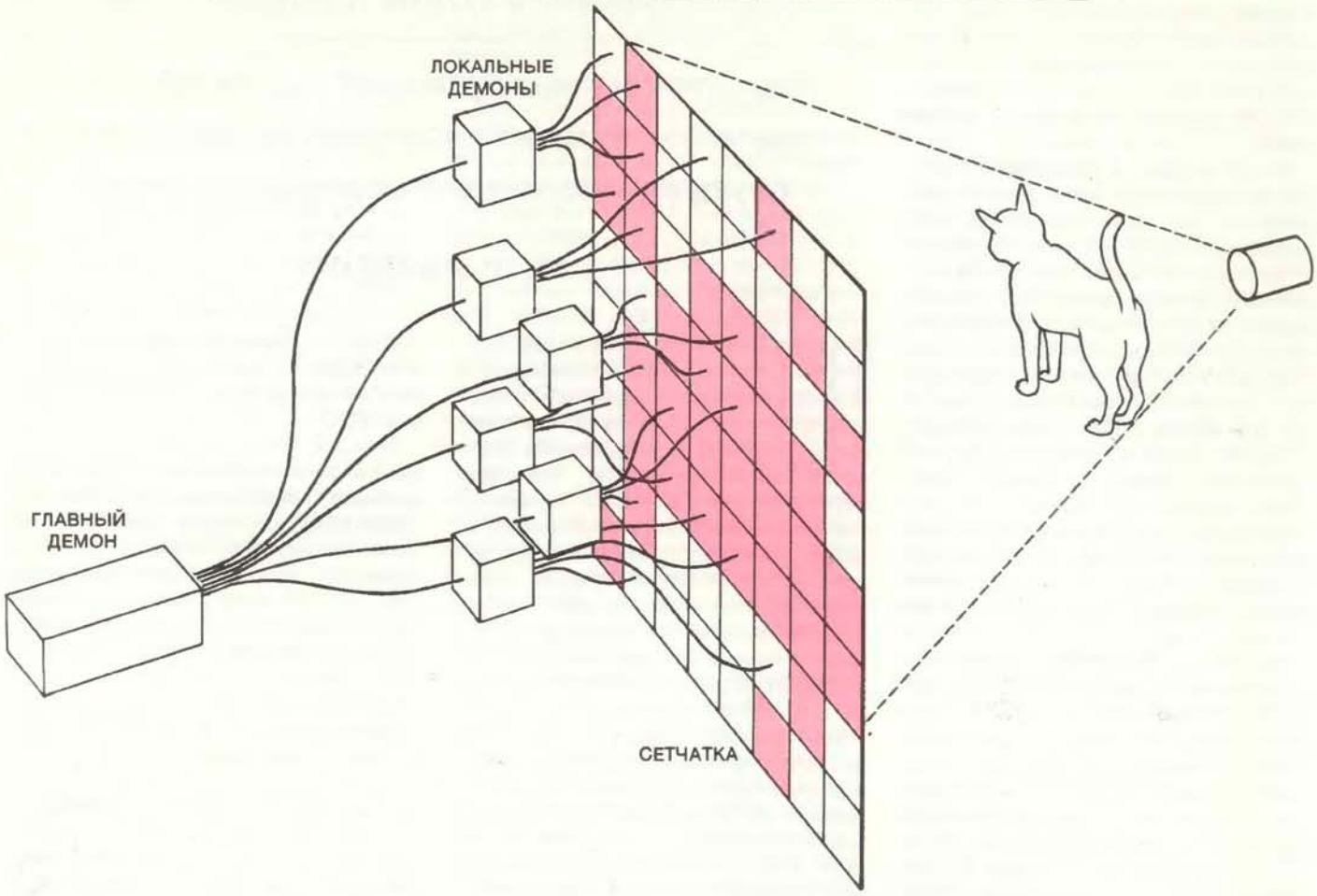
В 50-х и 60-х годах наблюдался колоссальный взрыв творческой активности в новой стремительно развивавшейся области вычислительной техники и теории вычислений. Многие исследователи находились тогда под влиянием таких романтических понятий, как самоорганизующиеся системы, обучающиеся машины и компьютеры, обладающие «интеллектом». Я бы назвал этот период эпохой кибернетики. Невероятные машины, которые могли бы видеть, думать или даже воспроизводить самих себя, казалось, вот-вот будут созданы. Простейшей из этих машин был персептрон.

ПЕРСЕПТРОН состоит из решетчатой сетчатки, разделенной на конечное число ячеек — детекторов света. Подобно некоторым клеткам сетчатки глаза, каждая ячейка «включается», посылая импульс тока, когда получает достаточное количество света; в противном случае она остается в «выключенном» состоянии. Поэтому было бы естественно представить образ, анализируемый персептроном, в виде решетки, состоящей из светлых и темных квадратиков, как на рисунке на с. 128.

Помимо сетчатки персептрон содержит великое множество простейших элементов, принимающих решение, которые я буду называть локальными демонами. Каждый локальный демон проверяет определенное подмножество ячеек сетчатки и посылает сигнал, характеризующий состояние этих ячеек, более сложному логическому элементу, принимающему более ответственное решение. Этот элемент я назову главным демоном. Уточним: у каждого локального демона есть набор определенных образов, за появлением которых он должен следить во вверенной ему области, т.е. на своем подмножестве ячеек сетчатки. Когда там появляется один из таких образов, локальный демон посылает сигнал главному демону; в противном случае он «молчит». Работа главного демона несколько сложнее — он должен выполнять некоторые расчетные операции. Амплитуда сигнала от каждого локального демона умножается на специально обусловленное положительное или отрицательное число («вес», приписанный данному локальному демону), и полученные результаты складываются. Если полученная сумма не меньше установленного порога, главный демон говорит «да»; в противном случае — «нет». Чтобы не вдаваться в интригующий вопрос о том, как выглядят эти демоны, я изобразил их в виде кубиков, приведенных на с. 128.

Демонам часто поручают опасную или даже невозможную работу, например такую, как открывать микроскопические дверцы в перегородке сосуда, чтобы пропускать молекулы, обладающие определенными свойствами. У демонов персептрона работа сравнительно нетрудная. На самом деле локальных демонов можно заменить простыми логическими схемами, а с работой главного демона легко может справиться устройство из нескольких регистров, сумматора и компаратора (все это элементы центрального процессора, присутствующие в любом компьютере). Однако демоны обладают романтическим очарованием, которого лишены электронные устройства.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



Персептрон пытается распознать кошку

Работа персептрона заключается в том, чтобы говорить «да», когда ему показывают определенные образы, и «нет» — в ответ на все остальные. При этом считается, что образы первого типа «распознаются» персептроном. И хотя перспектива создания персептрона, распознающего кошек, весьма сомнительна, существуют другие, вполне разрешимые задачи распознавания.

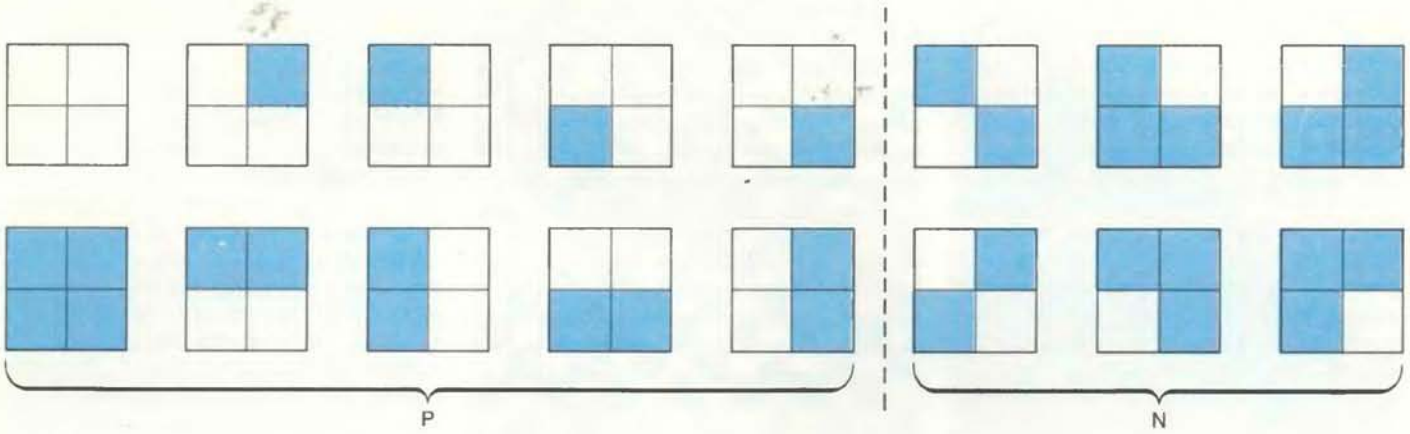
Персептрон можно запрограммировать в том или ином смысле для распознавания определенного класса образов за счет правильного подбора весовых коэффициентов и порогового значения их суммы. Локальные демоны, функция которых заключается в том, чтобы сигнализировать о наличии определенного класса объектов (образов), имеют положительные весовые коэффициенты, а те, которые должны свидетельствовать против, получают отрицательные веса. Абсолютная величина весового коэффициента говорит о сравнительной важности данного свидетельства. Хотя рассматриваемые здесь персептроны оперируют фиксированными весами, программирование играет центральную роль в теории персептронов, разработанной в 50-х годах.

Персептрон, описанный ниже, распознает темный прямоугольник произвольного размера или формы, расположенный в любом месте на его сетчатке. На самом деле он распознает любое количество таких прямоугольников (в том числе и их отсутствие) при условии, что ни одна пара прямоугольников не касается друг друга ни одной из сторон, ни вершинами углов. Персептрон строится в три этапа. Сначала к каждой области сетчатки размером 2×2 подсоединяется один локальный демон. Затем все распознаваемые подобразы из набора P (позитивные), который приведен на верхнем рисунке на с. 129, заносятся в список каждого локального демона. Третий этап заключается в том, чтобы установить все весовые коэффициенты главного демона равными $+1$, а значение порога равным d — по числу локальных демонов.

Подобное устройство требует довольно большого числа демонов: если сетчатка персептрона имеет размер $n \times n$, то необходимое количество локальных демонов составит $(n-1)^2$. Им всем придаются положительные веса — это означает, что они все должны давать позитивные свидетельства при распознавании прямоугольников. Нетрудно видеть, например, что при проецировании одного темного прямоугольника на сетчатку персептрона каждая область ячеек размером 2×2 получит один из подобразов, содержащихся в списке P. Следовательно, каждый демон пошлет сигнал главному демону и значение «взвешенной» суммы этих сигналов, разумеется, будет равно d. В этом случае главный демон говорит «да». С другой стороны, если хотя бы одна из темных фигур не является прямоугольником или два прямоугольника касаются друг друга, то по крайней мере одна область сетчатки персептрона получит подобраз, содержащийся в списке N (негативные), который приведен на с. 129 вверху. Поэтому по крайней мере один локальный демон не пошлет сигнала, и главный демон получит сумму, не превышающую $d-1$. В результате он скажет «нет».

Можно построить эквивалентный персептрон, в котором каждый локальный демон располагает меньшим списком N. В этом случае все веса будут равны -1, а пороговым значением будет нуль. Каждый локальный демон будет поставлять отрицательное (негативное) свидетельство при предъявлении образа, состоящего из прямоугольников, и главный демон скажет «да» только в том случае, если ни один локальный демон не пошлет сигнала.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

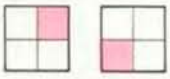


Подобразы размером 2 × 2, распознаваемые позитивными (P) *и негативными* (N) *локальными демонами*

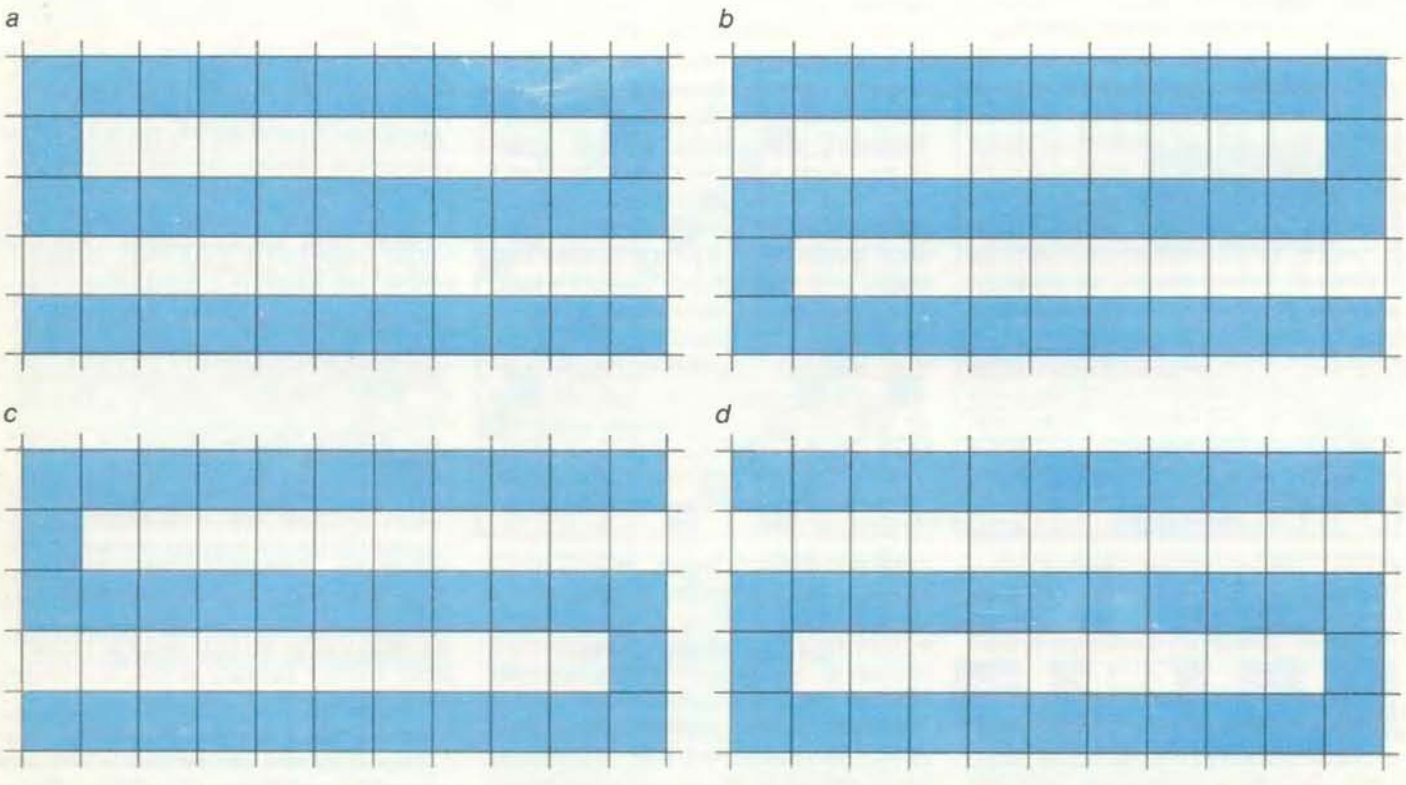
Персептрон описанной выше разновидности обладает многими интересными свойствами, поэтому дадим ему название. Независимо от того, каким конкретным списком оснащены локальные демоны, устройство подобного рода назовем «окошечным» персептроном, потому что каждый локальный демон видит входной образ через «окошко» размером 2 × 2. При размерах сетчатки $n \times n$ число локальных демонов должно быть равно $(n - 1)^2$ и значение порога также равно этой величине.

Вообще говоря, персептроны, по-видимому, лучше всего распознают геометрические фигуры. Окошечные персептроны могут распознавать не только прямоугольники, но также и «черные дыры» (изолированные темные клетки), вертикальные и горизонтальные линии, образы типа «лестницы», «шахматной доски» и многие другие. Все зависит от того, из каких подобразов размером 2 × 2 состоят списки локальных демонов (см. рисунок на с. 130). В действительности каждое подмножество из 16 возможных подобразов размером 2 × 2 определяет свой окошечный персептрон и каждый из результирующих 65 536 окошечных персептронов распознает определенный класс образов. Но, впрочем, распознает ли?

Окошечный персептрон с двумя следующими подобразами

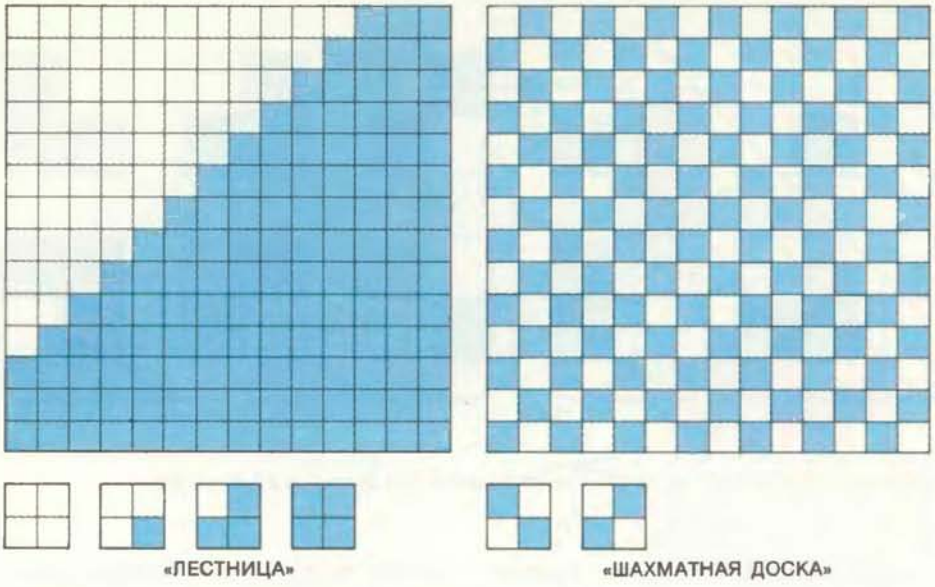


ничего не распознает. Причину понять нетрудно. Предполагая, что размеры сетчатки достаточно велики, выберем окошко размером 2 × 2 в средней ее части. Если на это окошко проецируется первый из двух приведенных выше подобразов, то рассмотрим окошко, сдвинутое относительно данного на одну клетку вправо: оно будет иметь темную клетку в верхнем левом углу. Поэтому локальный демон, контролирующий эту область, не пошлет сигнал главному демону. Напомним, что по определению окошечного персептрона необходимое условие для распознавания образа заключается в том, чтобы *все* локальные демоны послали сигнал, свидетельствующий в пользу данного образа. Если же на первое окошко проецируется второй подобраз из спис-



Четыре фигуры, подобранные так, чтобы запутать персептрон, распознающий свойство связности

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



Образы, распознаваемые «окошечным» персептроном

ка, то сдвиг на одну ячейку влево приведет к аналогичному противоречию.

КАКИЕ ЖЕ подмножества из 16 основных подобразов порождают окошечные персептроны, которые действительно что-то распознают? На этот вопрос, наверное, трудно ответить, однако он служит очень хорошей иллюстрацией тех вопросов, которыми может заинтересоваться программист-теоретик или математик, столкнувшись с феноменом персептрона, который ничего не распознает. Поскольку речь идет о большом количестве таких персептронов, ответ лучше всего выразить в виде какого-либо легко применяемого критерия или теста: задавая определенное подмножество подобразов 2×2, можно применить тест и получить ответ для данного подмножества.

Из замечаний, сделанных выше, должно быть ясно, что вовсе не обязательно быть теоретиком-программистом, чтобы отвечать на подобные вопросы. Хотя эти вопросы несколько сложнее головоломок, обычно публикуемых в рубрике, посвященной занимательным математическим задачам, в принципе они требуют такого же мышления. Читатели, решившие хотя бы одну из головоломок Мартина Гарднера, печатавшихся в разделе «Математические игры» нашего журнала, наверное, смогут добиться некоторых успехов, пытаясь найти ответ на поставленный выше вопрос. А вообще в теоретических исследованиях, так же как и в экспериментальных, частичный ответ все же лучше, чем никакого.

Работа в области исследования возможностей персептронов была начата Фрэнком Розенблаттом в Корнеллском университете в 50-х годах*. Розенблатт и его последователи как в Корнеллском университете, так и в других исследовательских центрах относились оптимистично к перспективе персептронов как практически полезных устройств для распознавания образов. Из «теоремы о сходимости» следует, что в принципе персептроны могут научиться распознавать образы, если автоматизировать подбор весовых коэффициентов, с которыми работает главный демон. Эта теорема утверждает, что любое перераспределение весов в направлении, повышающем способность к распознаванию, может послужить основой для дальнейшего улучшения. Были построены реальные персептроны, и в некоторых экспериментах с простыми образами были получены хорошие результаты, частота распознавания была довольно высокой.

*С работами Ф. Розенблатта можно познакомиться в сборнике «Самоорганизующиеся системы», выпущенном издательством «Мир» в 1964 г. (с. 65 — 112). — *Прим. перев.*

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

То, что тогда казалось обнадеживающей перспективой, было в какой-то степени иллюзией. По мнению Марвина Л. Минского и Сеймура Пейперта из Массачусетского технологического института, энтузиастов, исследовавших персептроны, подкупали простота и кажущаяся перспективность этих устройств. Но за этими привлекательными свойствами скрывались серьезные недостатки принципиального характера. В 1969 г. вышла в свет книга Минского и Пейперта «Персептроны»*, которая произвела эффект иголки, проткнувшей воздушный шар. В книге было приведено несколько задач и строгое доказательство того факта, что персептроны не могут с ними справиться.

Одним из наиболее примечательных дефектов, вскрытых Минским и Пейпертом, было то, что некоторые персептроны не способны установить, является ли показанная им геометрическая фигура связной (т.е. содержащей изолированные части). Исходя из того, что каждый локальный демон обследует лишь какую-то ограниченную область, Минский и Пейперт привели примеры четырех образов, подобранных так, что один из них всегда вводит в заблуждение персептрон, задача которого заключается в том, чтобы распознать, является ли образ связным. Эти примеры показаны на нижнем рисунке на с. 129. Два из них (*b* и *c*) представляют собой связные фигуры, а два других (*a* и *d*) — нет.

ДОПУСТИМ, кто-то утверждает, что изобрел персептрон, ограниченный по диаметру, который способен различать связные и несвязные образы. Под термином «ограниченный по диаметру» я понимаю то, что существует некоторое число m, такое, что каждый локальный демон может просматривать образ только через окошко, размеры которого не превышают квадрата из $m \times m$ ячеек сетчатки. Чтобы проверить это утверждение, в примере Минского и Пейперта следовало бы подобрать 4 образа так, чтобы размеры каждого из них превышали m ячеек. Такие локальные демоны можно разделить на 3 непересекающихся множества. «Левые» демоны видят по крайней мере одну клетку на левом крае фигуры, «правые» — по крайней мере одну клетку на правом крае, а «прочие» не относятся ни к «левым», ни к «правым».

Когда гипотетическому персептрону, распознающему свойство связности, представляют образ *a*, он либо терпит неудачу (говоря «да»), либо добивается успеха (говоря «нет»). Если он терпит неудачу, то тест, разумеется, завершен. Если попытка оказывается для него успешной, то следующий шаг заключается в том, чтобы исследовать сумму, получаемую главным демоном, путем разбиения ее на 3 части: L, O, R, представляющие взвешенные суммы, получаемые соответственно от левых, прочих и правых демонов, посылающих сигналы главному демону, когда на сетчатку проецируется образ *a*. Поскольку в данном случае персептрон, распознающий свойство связности, говорит «нет», сумма частей L, O и R, очевидно, оказалась меньше порогового значения. Если образ *a* заменить теперь образом *b*, только левые демоны изменят свой ответ, поскольку изменяются лишь клетки, расположенные вдоль левого края фигуры. Предположим, что значение частичной суммы L изменяется и становится равным L'. С другой стороны, если образ *a* заменить образом *c*, то изменятся лишь клетки, расположенные вдоль правого края фигуры, и лишь правые локальные демоны изменят свой ответ. При этом частичная сумма R изменится и станет равной, скажем, R'.

Теперь персептрон попадает в очень интересную ситуацию. Поскольку образы *b* и *c* связные, от должен ответить «да» в обоих случаях. Поэтому суммы $L' + O + R$ и $L + O + R'$ должны быть не меньше порогового значения. Однако уже известно, что $L + O + R$ меньше порогового значения, так как образ *a* был несвязным. Отсюда следует, что L' больше L, а R' больше R. Развязка наступает, когда персептрону показывают образ *d*, этого «удара» ему уже не выдержать. Здесь по сравнению с образом *a* изменяют свое состояние клетки, расположенные как на левом, так и на правом краю фигуры. В результате главный демон получает сумму $L' + O + R'$, которая определенно больше порогового значения. Главный демон говорит «да» и , таким образом, ошибается.

Среди прочих недостатков, присущих персептронам и выявленных Минским и Пейпертом, можно отметить и тот факт, что для некоторых задач распознавания требуется настолько большое число локальных демонов, что практическая реализация такого персептрона окажется невозможной, в то время как для некоторых других задач скорость обучения (сходимость) персептронов слишком мала.

ВЕРОЯТНО, нас не должен удивлять тот факт, что персептроны терпят неудачу во многих случаях там, где человеческая зрительная и распознающая система действует успешно. Я уже говорил, что локальные демоны и главный демон можно вполне заменить простыми вычислительными электронными схемами. Их функции могут также выполнять так называемые формальные нейроны, впервые описанные в 40-х годах Уорреном С. Маккаллоком и Уолтером Х. Питтсом в их классической работе по нервной активности*. Эти формальные нейроны намного проще человеческих нейронов. Сложность персептрона, построенного в виде двуслойной нейронной сети, тоже очень далека от сложности первых двух слоев зрительной области коры головного мозга человека. Более того, «за» этими слоями скрывается поразительный по сложности и почти совершенно неисследованный аналитический аппарат, отсутствующий в модели зрения-распознавания, которую представляет персептрон. Даже для того, чтобы как-то приступить к моделированию этой сложнейшей системы, нужно заменить главного демона машиной Тьюринга, но здесь мы уже не сможем пойти дальше чисто умозрительных размышлений и поэтому лучше остановимся.

Несмотря на то что персептроны представляют собой как бы «глаза без ума», они подкупающе просты и по отношению по крайней мере к некоторым классам образов определенно обладают способностью распознавания. Интересно, удастся ли читателям открыть какие-то другие, не упомянутые здесь образы, которые смог бы распознавать окошечный персептрон. Те, кто захотят ответить на более трудный вопрос, а именно какие подмножества из 16 приведенных в настоящей статье подобразов размером 2 × 2 порождают «хорошие» окошечные персептроны (т.е. такие, которые способны распознать хотя бы один образ), возможно, лучше уяснят себе задачу и пути ее решения, если воспользуются дополнительным ограничением. Оно заключается в том, чтобы распознаваемые образы были «переносимыми» — другими словами, чтобы их можно было переносить из одной произвольной области сетчатки в другую, не нарушая способности персептрона распознавать их. Это требование не только исключает из рассмотрения некоторые слишком узко специализированные модели окошечных персептронов (например, устройство, которое распознает единственную темную клетку, расположенную в правом верхнем углу сетчатки), но также создает эффект сканирования персептроном «реальной» сцены, подобно тому как это делал мой фантастический аппарат.

Хотя, вообще говоря, персептроны, ограниченные по диаметру, не способны проводить различия между связными и несвязными фигурами, на некото-

*М.Минский, С. Пейперт. Персептроны, — М.: Мир, 1971. — *Прим. перев.*

*Имеется в виду статья: Маккаллок У. С., Питтс У. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности, в сборнике «Автоматы» — М.: ИЛ, 1956. — *Прим. перев.*

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

рых классах фигур свойство связности может быть распознаваемым. Например, в классе образов, состоящих из множеств прямоугольников, связными образами будут такие, которые состоят из одного прямоугольника. Можете ли вы построить схему персептрона, распознающего именно такие образы? Ваши локальные демоны должны будут «смотреть» через окошки размером 2 × 2, но если нужно, вы можете воспользоваться дополнительными демонами.

Из того, что было сказано мною выше о книге Минского и Пейперта «Персептроны», можно было сделать вывод, что с ее выходом в свет исследования в области персептронов прекратились. Однако правильнее было бы сказать, что не существует больше оснований для тех неоправданно больших надежд, которые возлагались на персептроны и их способность к распознаванию. Цель исследования, проведенного и опубликованного Минским и Пейпертом, вовсе не заключалась в том, чтобы прекратить все работы по теории персептронов. Точная оценка возможностей, которыми обладают эти простые и иногда эффективные устройства, пока остается открытым вопросом.

Розенблатт, исследования которого затрагивали также психологию и нейробиологию, трагически погиб в результате несчастного случая, произошедшего в день его рождения, когда ему исполнилось 43 года, 11 июля 1971 г. в штате Мэриленд.

СТАТЬЯ об аналоговых устройствах (см. журнал «В мире науки», 1984 №8, с. 92) встретила у читателей хороший отклик — было предложено 17 новых устройств и прислано три правильных решения задачи о луче света в ящике с зеркальными стенками.

Однако, прежде чем заняться этими ответами, я должен исправить одну ошибку. По имеющимся у меня сведениям, самый быстрый алгоритм отыскания выпуклой оболочки для множества точек на плоскости требует порядка $n \log n$ операций, а не $n \log \log n$. Шнурковое аналоговое устройство, решающее ту же задачу, было изобретено в 1957 г. Дж. Минти-младшим из Университета шт. Индиана. Минти указывает также, что использование мыльной пленки для отыскания минимального дерева Штайнера было придумано У. Вилем в 1958 г.

Лазерное устройство, отвечающее на вопрос, является ли число n простым, подверглось критике со стороны Д. Циммермана из г. Бевер-Дэм, шт. Висконсин. По пути от источника к детектору, указывает он, свет должен быть отражен n раз, но, поскольку скорость света конечна, время решения задачи оказывается пропорциональным n. Если определить размер задачи как количество разрядов в числе n, то время решения возрастает экспоненциально с ростом n, и, таким образом, это аналоговое устройство не дает выигрыша в скорости по сравнению с цифровым алгоритмом.

Тот факт, что скорость света является конечной величиной, не ускользнул от внимания и С. Хендрикса из г. Нью-Бронфелс, шт. Техас, который указал, что в задаче о ящике с зеркальными стенками может пройти очень много времени, прежде чем луч сможет его покинуть. Я спрашивал читателей, какое свойство пути, пройденного лучем, измеряет ящик с зеркальными стенками. Хендрикс был среди тех, кто решил эту задачу, отметив, что вопрос о том, выйдет ли луч из зеркального ящика, эквивалентен вопросу о том, пересечет ли бесконечная прямая на плоскости точку с целыми координатами.

Вообразим себе бесконечно большой сад с бесконечно тонкими деревьями, посаженными в вершинах квадратной решетки. Если выстрелить с одного из деревьев в произвольном направлении, попадет ли когда-нибудь пуля в другое дерево? (Рассуждение автора справедливо при условии отсутствия в воображаемом саду сил тяготения. — *Перев.*) Попадет, если выстрел произвести под таким углом к линии посадки деревьев, тангенс которого представляет собой рациональное число. Если дерево, в которое попадет пуля, находится в точке, удаленной на p рядов к северу и q к востоку, то тангенс угла стрельбы должен составлять p/q. В задаче о луче света в зеркальном ящике зеркала лишь отклоняют пулю, как бы «складывая» траекторию ее полета в ограниченном пространстве ящика. Эту задачу решили также Дж. Джонс из г. Фармингтон-Хиллз, шт. Мичиган, и П. Кингсберг из г. Империал, шт. Пенсильвания.

Чтобы воздать должное богатому многообразию аналоговых устройств, описанных читателями, нужно, по-видимому, посвятить еще одну статью этой теме, может быть, в одном из первых номеров журнала за 1985 г. А пока придется ограничиться лишь упоминанием о некоторых наиболее интересных устройствах.

П. Эш из Университета св. Джозефа сообщил о том, как можно решать кубические уравнения, погружая твердые тела в бак с водой. Т. Дигби из Лос-Анджелеса отметил, что вычислительная мощность аналогового устройства объясняется его способностью параллельно выполнять много процессов. Он показал, как можно с помощью n цифровых компьютеров отсортировать n чисел за «линейное» время, получив тем самым тот же результат, который был получен с помощью макаронного аналогового компьютера.

Э. ХОЛСИ из Университета шт. Вашингтон описал устройство, отыскивающее самый длинный путь на графе, который собран из «змеек». Каждое ребро графа представляется эластичным шнуром, пропущенным через целое число бусинок. Выявляется ли самый длинный путь, если устройство растянуть, а затем ослабить натяжение? Другое его устройство измеряет длину кратчайшего пути между двумя вершинами на графе. Пусть ребра графа сделаны из бикфордова шнура, а вторая вершина, кратчайшее расстояние до которой мы ищем, представляет собой пороховую хлопушку. Подожжем шнуры, исходящие из первой вершины, и отойдем на всякий случай подальше: время, прошедшее до взрыва хлопушки, будет пропорционально длине искомого пути.

П. Хансен-младший из г. Ларго, шт. Флорида, напомнил мне, что планиметр, механическое устройство для измерения площади, можно также рассматривать в качестве аналогового компьютера. Д. Хоффман из Колледжа общества Бельвю в Вашингтоне указал на некоторые другие задачи, которые можно решать с помощью мыльной пленки, включая остроумный способ вычисления по закону Снеллиуса. Д. Кимбалл из Сан-Диего решает задачи об отыскании пути в лабиринте, закачивая воду в лабиринт и прослеживая за течением воды к выходу. Другое любопытное устройство было описано Дж. Люетом, служащим металлургической компании United States Metals Refining в Картерете, шт. Нью-Джерси. Это устройство отыскивает точку оптимального расположения плавильного завода, назовем его ПЛАЗАУ (ПЛАвильный Завод — Аналоговое Устройство). Расположение плавильного завода должно быть оптимальным в смысле минимизации транспортных расходов на подвоз угля, руды и известняка. Три отверстия в доске и три гирьки, связанные вместе одним шнурком, решают эту задачу. То же самое устройство было упомянуто и читателем Хендриксом.

Т. Мэнсфилд из Британской национальной физической лаборатории в Теддингтоне решает задачи линейного программирования с помощью сооружения, собранного из деталей детского конструкторского набора. Т. Рейзнер из Университета Лаваля в Квебеке строит контурную карту рельефа, покрывая его москитной сеткой. Яркое освещение сверху создает муаровый рисунок, когда сетка интерферирует со своей собственной тенью.

Американская цитрусовая промышленность, очевидно, также пользуется аналоговым устройством для сортировки плодов. Апельсин прокатывается по двум не совсем параллельным трубкам и проваливается, когда рас-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

стояние между трубками равно диаметру апельсина. Дж. Швенклер из г. Луивиля, шт. Колорадо, одно время отыскивал центр тяжести деталей, пользуясь разновидностью приема, который применял Р. Грейем для балансирования тарелки. Когда деталь трижды протаскивали на веревке по гладкой поверхности, центр тяжести детали каждый раз находился в вертикальной плоскости, проходящей через веревку. Точка пересечения трех таких плоскостей указывала на искомое положение центра тяжести.

Издательство

ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА

предлагает:

Дж. Симонс

ЭВМ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ: КОМПЬЮТЕРЫ 90-х ГОДОВ

Перевод с английского

Работа Дж. Симонса, главного редактора публикаций Национального центра ЭВМ (Великобритания), дополняет выпущенную издательством «Финансы и статистика» в 1984 г. книгу «ЭВМ пятого поколения: концепции, проблемы, перспективы», содержащую сообщение японского межведомственного центра по проблемам разработки ЭВМ пятого поколения и последствиям их применения.

Предлагаемый вниманию читателя русский перевод книги Дж. Симонса знакомит с состоянием и программами развития за рубежом работ по созданию новых поколений вычислительной техники. Описываются программы развития вычислительной техники за рубежом; большое внимание уделено таким проблемам, как «искусственный интеллект», экспертные системы, взаимодействие человек — машина; анализируется точка зрения ведущих специалистов США и Англии на японский проект создания вычислительных систем пятого поколения.

1985, 25 л., с иллюстрациями.

Цена 90 к.

Книги

Физические постоянные; автобиография ученого; планимир: контакт с двумерным миром при помощи компьютера; размер тела и экология

ФИЛИП МОРРИСОН

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ. *Под редакцией У. Маккреа и М. Риса*
THE CONSTANTS OF PHYSICS, edited by W. H. McCrea and M. J. Rees. The Royal Society, England (23,40 pounds sterling)

Физики, занимающиеся теорией калибровочных полей, в последнее десятилетие достигли значительных успехов. Они полагают, что с покоренных вершин уже видны на горизонте очертания новой, более полной, теории и бесстрашно идут к своей цели. Им предстоит еще долгий путь, поскольку поставленная задача беспрецедентна по своей широте. Мысль теоретиков пытается охватить почти все сущее: от строения кварков до закономерностей расширения Вселенной в прошлом и будущем.

Книга представляет собой сборник статей, отражающих эти последние достижения в области теоретической физики. Некоторые статьи занимают всего одну-две страницы и легко доступны широкому читателю, другие — более объемистые и сложные обзоры, предназначенные для тех, кто «закален в боях с дифференциальными уравнениями». Бóльшая часть статей снабжена стенограммами коротких дискуссий, поскольку в сборнике собраны материалы совещания, проходившего в мае прошлого года в Лондонском королевском обществе. На нем было широко представлено мировое сообщество физиков, причем среди участников были очень известные ученые. Темой обсуждения стали фундаментальные физические постоянные (легко представляемые в современную «квантовую» эру в безразмерном виде), которые характеризуют различные силы, действующие между элементарными частицами, а также другие фундаментальные параметры для описания микро- и макромира. В прошлом году в больших лабораториях и на подземных установках были получены экспериментальные данные, которые прекрасно подтверждают теорию электрослабых взаимодействий при доступных ныне энергиях. В то же время результаты некоторых экспериментов приводят к мысли, что природа в конце концов может быть устроена вовсе не так, как представляется в простейших теоретических схемах, на основе которых физики делают столь ошеломляющие обобщения.

Наиболее традиционная область исследований нашла отражение в первых пяти-шести статьях сборника, посвященных измерениям фундаментальных постоянных. Национальные лаборатории стандартов приходят к выводу, что стандартные единицы измерений должны быть введены на основе «хорошо изученных квантовых систем». «Секунда», конечно, определяется с помощью цезиевых атомных часов; скорость света вместе с атомными часами недавно вытеснила платиновый эталон «метра», а «вольт» и «ом» скоро будут точно определены посредством электрических измерений квантовых «скачков» («ступенек») в твердых телах при низких температурах. В недалеком будущем по-новому будет определен и «килограмм»: подсчетом атомов, основанным на измерениях периода кристаллической решетки с помощью рентгеновских лучей. Тем временем все более уточняется значение таких безразмерных констант, как постоянная тонкой структуры — знаменитая 1/137, которая служит мерой электрического заряда; ее значение установлено с относительной погрешностью порядка нескольких миллионных.

Пристальное внимание было уделено малой константе, стоящей особняком в ряду других фундаментальных постоянных и определяющей силу гравитационного взаимодействия. В наибольшей степени обсуждалась идея (возможно, несостоятельная), согласно которой гравитационная постоянная изменяется по мере того, как плотность расширяющейся Вселенной непрерывно падает. В довольно полном обзоре приведены оценки изменения гравитационной постоянной (если оно имеет место), которое составляет не более одной десятимиллиардной в год. Такая оценка основана на детальном анализе данных о движении планеты